

مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST
معهد بحوث البتروكيماويات

الوقود











د. عبدالعزيز بن أحمد باقبص

١٤٣٢هـ - ٢٠١١م

بسم الله الرحمن الرحيم

كان الوقـود والطاقـة - ولا يـزالان - مـن أهـم عوامـل تطـور كافـة المجتمعـات البشـرية على مر العصـور كما أنهما جانبان متلازمان في منظومة التقدم والتمدن كتلازم الجسم وظله.

تعرف الطاقة حسب المفاهيم الفيزيائية بأنها: القدرة على إنجاز شغل (Work)، ولهـذا فـإن القيام بأي عمل أو نشـاط يتطلب طاقة ابتداءً من الأعمـال البسيطة كرفع الأثقـال إلى العمليات الصناعية المعقدة. بـل إن الكائنات الحية لكي تتمكن من القيام بنشاطاتهـا الحيويـة المختلفـة فإنها بحاجة إلى طاقـة، فعلى سبيل المثـال تقوم عملية التمثيـل الضوئـي(Photosynthesis) في النباتـات علـى الطاقة الضوئيـة المستمدة مـن الشمـس. تتضح علاقة الوقود بالطاقـة أيضاً من خلال تعريفـه، والذي هو عبارة عـن المـادة (Matter) المختزن فيها الطاقـة الكيميائية نتيجة لشـكل و تركيب ذراتها وجزيئاتها. ووفقاً لهذا التعريف، فإن استغلال مادة الوقود لإنتاج الطاقة يتم من خلال تحريـر الطاقـة الكيميائية الكامنـة في مادة الوقـود، وتحويلها إلى طاقـة حرارية يتم تحويلهـا إلى طاقـة كهربائية أو أي شكل آخر من أشـكال الطاقة بحسب النشاط المراد عملـه. تتماشى عمليـة استغلال مادة الوقود هذه مع قانون حفـظ الطاقة، الذي ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، وإنما تتحول من شكل لآخر. بناءً على تعريف الوقود السابق، فإنه بالإمكان تقسيم مادة الوقود إلى مايلي:

الوقـود الأحـفوري

يعتمد هذا النوع من الوقود في إنتاج الطاقة على حرق المادة العضوية المتحجرة في وجـود الأكسجين. و لذا يطلق عليه اسم الوقـود العضوي (Organic fuel) إشارة إلى أصلـه العضوي، حيث تكـون من الكائنات الحية الميتة قبل ملايـين السنين، والمطمورة تحت الأرض في معزل عن الأكسجين(O_2) ووجود ضغط و حرارة عاليين. يتم الحصول على الوقود الأحفوري إما طبيعياً على شكل وقود أولي (Primary fuel) و يشمل الفحم الحجري، و النفط، والغاز الطبيعي. كما يمكن الحصول عليه بالطرق الصناعية، فيما يعرف بالوقود الصناعي أو الوقـود الثانوي(Secondary Fuel)، الذي يتم الحصول عليه وفق عمليات تحويل فيزيائية ميكانيكية أو فيزيائية كيميائية. ويتمثل هذا النوع من

الوقـود بفحم الكوك، ومشتقات النفط، والغاز المصنـع، وغيرهما. تصنف استعمالات الوقـود الأحفوري إلى: وقود طاقـة يستخدم للحصول على طاقـة حرارية ينتفع بها في تسخين الأفـران والمفاعلات الكيميائية والمراجل البخاريـة لتوليد بخار الماء المستخدم في إدارة التربينات لتوليد الكهرباء. كما يندرج تحته الوقود المستخدم في تسيير وسائل المواصـلات البرية والبحرية والجويـة، المدنية منها والعسكرية علـى حد سواء. كذلك يعد وقـود المنازل المستخدم لأغراض الطبخ والتدفئـة والتبريد من أنواع وقود الطاقة، وهنـاك وقود تقني تستخلص منه المواد المفيـدة في الصناعات الكيميائية والمتبقي منه يستغل كوقود حراري.

يمكن أن يصنف الوقود الأحفوري بحسب حالته الفيزيائية إلى مايلي:

- **وقود صلب**

يندرج تحت الوقود الصلـب (Solid Fuel) الفحم الحجري بمختلف أنواعه، وهو يتكون بصفة أساسية من مركبات أروماتية معقدة متعددة الحلقات ذات إذابة جزيئية كبـيرة، يدخل في تركيبها ـ بصفة أساسية ـ عناصــر الكربون والهيدروجين والأكسجين مع كميات قليلة من عنصري النيتروجين والكبريت.

- **وقود سائل**

يشمـل الوقـود السائـل (Liquid Fuel) النفـط الخـام ومشتقاتـه، والسوائـل الهيدروكربونيـة، ورمال القار (Tar Sands)، وزيـت السجيل (Shale Oil)، والوقود اللازم للمحركات.

النفـط: عبـارة عن مزيج أسود لزج لعدد كبير من الهيدروكربونات المختلفة، مع نسب قليلة من مركبات عضويـة تحوي الكبريت أو النيتروجين أو الأكسجين جدول(١). وقد أضفـى هذا المحتوى الكربوني العضـوي للنفط طبيعة غير قطبيـة تمنعه من الامتزاج مـع المـاء، وتجعله غالباً أقـل كثافة منه؛ ولذا يوجـد طافياً على سطحـه. لا شك في أن النفـط قد سيطر بشكل كبير كمصـدر أساس للطاقة. كما يعد أساس قيام الصناعات البتروكيميائيـة لمدة تربو على نصف قرن حتى يومنا هذا. ولعل تلك المكانة التي تبوأها النفط تعزى لتمتعه بعدد من السمات التي من أهمها:-

١-احتـواؤه على منتجات شتى قابلة للفصل من خلال عملية التكرير، منها ما يستعمل كوقود، ومنهـا مـا يستخدم لإنتاج زيوت التزييت ومذيبات نفطية، ومنهـا ما يدخل كمواد أولية في الصناعات البتروكيميائية.

٢- احتـواؤه علـى كميات من الغـاز الطبيعي التـي يمكـن فصلهـا عـن النفـط عنـد استخراجه من حقوله.

٣- سهولة نقله إلى مسافات بعيدة، سواء من خلال الأنابيـب على اليابسة أو من خلال الناقـلات العملاقـة بحـراً. عـلاوة على ذلك فهو يتميز بسهولة تخزينه.

المكون	النسبة المئوية (٪)
كربون	٨٣-٨٧
هيدروجين	١١-١٥
كبريت	٠,١-٨
أكسجين	٠,١-١,٧
أملاح عضو فلزية ذائبة	٠,٥
أملاح عضو فلزية غروية	٠,٠٣

جدول (١) مكونات النفط الرئيسة ونسبها.

٤- انخفاض تكاليف إنتاجه، ونقله، وتكريره، وعلو قيمته الحرارية مقارنة بالفحم الحجري.

٥- احتراقه ينتج كميات من المواد الملوثة أقل بكثير من تلك الناشئة عن حرق الفحم الحجري.

مكونـات النفـط: وتشمـل الهيدروكربونـات التاليـة:.. الهيدروكربونـات البرافينية أو الألكانـات (Paraffins or Alkanes): ولها صيغة عامة (C_nH_{2n+2}) وتعد مركبات مشبعـة من حيث ارتباط ذرات الكربون فيها بذرات هيدروجين. تقع الأوزان الجزيئية لهـذه المركبات في مجال يتراوح من الميثـان ذي ذرة الكربون الواحدة إلى تلك الحاوية علـى ثمان وسبعـين ذرة من الكربـون. وتوجد المركبـات الأربعة الأولى منهـا - الميثان (CH_4)، والإيثـان (C_2H_6)، والبروبـــان (C_3H_8)، والبيوتـان(C_4H_{10}) - في صـورة غـازات، بينما توجد المركبات التـي بها خمس ذرات كربـون إلى ست عشرة ذرة كربـون في الحالـة السائلـة، أمـا تلك التـي تحوي أكثر مـن ست عشـرة ذرة من الكربـون فتوجد في الحالـة الصلبة. تتكون جزيئـات البرافينـات إمـا بشـكل سلاسل مستقيمة (n-Paraffins) حيث(n) تعود لكلمـة (Normal)، أو بشـكل سلاسـل



متفرعـة (Branched Chain Paraffins)، كمـا تعد الألكانـات المتفرعة من الناحية الكيميائيـة متماكبـات تركيبيـة (Isomers) للألكانـات المستقيمة المقابلـة التي لها العـدد نفسه مـن ذرات الكربـون وذرات الهيدروجـين، أي لها الـوزن الجزيئي نفسه، ولكنهـا مختلفـة عنها في طريقة ارتباط الـذرات وشكلها الفراغـي. إن هذا الاختلاف الفراغـي بـين المتماكبـات ذات الـوزن الجزيئي الواحـد يعمل على اختـلاف خواصها الفيزيائيـة كدرجة الغليان ودرجـة الانصهار، واختلاف خواصهـا الكيميائية كخواص الاحـتراق. ويزداد عدد متماكبات ألكان ما، بزيادة عدد ذرات كربونه. تسود الألكانات في المشتقـات النفطيـة الخفيفة، بينمـا تقل نسبتها في المشتقـات النفطية ذات درجات الغليان المرتفعة.

- الهيدروكربونات النفثينية أو الألكانات الحلقية (Naphthenes or Cycloalkanes):

وهـي عبارة عن الصورة الحلقية للبرافينات، وتجمعها الصيغة العامة (CnH2n)، وبسبـب تحلقها فإن محتواها الهيدروجيني يقل أو يزيد بذرتي هيدروجين عن نظيراتها مـن الألكانـات، وتتكـون الألكانات الحلقية من حلقـة واحدة أو أكثر، مـع وجود أو عدم وجـود سلاسل ألكانية جانبية. تقع درجات غليـان النفثينات بين درجة غليان الألكانات المستقيمـة والألكانات المتفرعة. تعـد الهيدروكربونات النفثينية أكـثر المركبات انتشاراً في النفـط. ويتواجـد كل من البنتـان الحلقي والهكسان الحلقـي في قطفات النفط ذات درجـات الغليان المنخفضـة، بينما توجد النفثينـات ذات الحلقتـين في الكيروسين. أما المشتقات الثقيلة فتحوي الألكانات الحلقية ذات الأربع والخمس حلقات.

- الهيدروكربونات العطرية (Aromatics): وتتميز بعدم تشبعها بذرات الهيدروجين، واحتوائها على روابط ثنائية متناوبة، وتجمعها الصيغة العامة (CnH2n-6) حيث (n) ستـة أو أكثر، وعليه فـإن البـنزين (Benzene) يمثل أبسـط مركبات هذه المجموعة. توجـد في النفـط مركبات عطريـة بها حلقتـا بنزين، وثـلاث حلقات، وأربـع حلقات. أمـا كميـة الهيدروكربونات العطرية في النفـط فتختلف باختلاف مصـدره. وعادة ما تحتـوي القطفات ذات درجات الغليان المنخفضة علـى كميات أقل من الهيدروكربونات العطريـة، مقارنـة بالقطفات ذات درجات الغليـان المرتفعة. أما قطفـات الكيروسين

فتحتوي مركبــات عطرية ذات حلقة واحدة بها سلاسل ألكيلية طرفية، وعلى النفثالين ومشتقاتــه. أما مشتقات النفط الثقيلة فإنها تحوي هيدروكربونات ذات حلقات عطرية ونفثينيــة في آن واحد، ومركبات البنزيـن ذات السلاسل الجانبية الطويلة، والعطريات متعددة الحلقات، ومشتقات النفثالين.

- مركبــات غـير هيدروكربونية: وتوجد بكميــات ضئيلة وهي غير مرغوبـة، لأنها تؤثر سلباً على عمليات تقطير النفط، حيث تسبب تآكل الأنابيب وانسدادها بفعل الترسبات المتخلفة على أسطحها الداخلية؛ مما يعمل على خفض عمر الأنابيب ومعدات التسخين؛ ولذا يجب فصلها. تقسم هذه المواد إلى أربع مجاميع:-

١- مركبــات الكبريـت (Sulfur Compounds)؛ وتوجـد علـى هيئـة مركبتانـات (Mercaptanes، R-SH)، وإيــثرات كبريتيـة (Thioethers، R-S-R)، وثنائــي كبريتيـد ثنائــي الألكيـل (Dialkyl Disulfide، RS-SR)، وعلـى هيئـة مركبات حلقيــة مثـل الثيوفـين(Thiophene) كذلك يتواجد غــاز كبريتيـد الهيدروجين مصاحبــاً للنفـط في مكامنه، ويتم فصله في فاصلات الغــاز عند رأس البئر. يعمل وجود الكبريت في وقود السيارات على خفـض قـدرة المحـرك، ويضـر بالبيئـة حيث تسبــب أكاسيـد الكبريـت - الناتجـة عن احتراق الوقود المحتـوي على الكبريت - الأمطــار الحمضية، لذا كان لزاماً إزالة مركبــات الكبريت من مشتقات النفط، أو العمل على تقليل تركيزها بشكل كبير.

٢- مركبات الأكسجين (Oxygen Compounds): وتوجد على هيئة أحماض نفثينية (حمـوض كربـو كسيلية بهـا حلقـة نفثينيــة)، وفينــولات (Phenols)، وكيتونات (Ketones)، وإيــثرات(Ethers) ، حيـث تساعد الأحماض على تشكل مستحلب مائي في الزيت فضلاً عن أنها تسبب مشاكل تآكل.

٣- مركبــات النيتروجـين (Nitrogen Compounds): وهــي مركبــات حلقية يكون النيتروجــين فيها ضمن تصميم الحلقـة. وهي إما أن تكون أحادية الحلقة كالبيرول (Pyrrole)، والبيريدين (Pyridine)، وإما أن تكون ثنائية الحلقـة مثل الكينولـين (Quinoline)، وإمــا أن تكـون ثلاثيــة الحلقـة مثـل الكاربــازول (Carbazole)

والمركبـات العضومعدنيـة (Organometallic Compounds)، وهـي مسؤولـة بشـكل أساسـ عن تكـون الرماد المتخلـف نتيجة حـرق الزيت الخـام. وتتميز هذه المركبـات بثباتها، وحاجتهـا إلى درجات غليان أعلى مـن ٥٠٠°م حتى تتطاير. لذا فإنهـا توجـد في مشتقـات النفط الثقيلـة. يعمل تواجد هـذه المركبـات على تسمم المحفـزات المستخدمة في تحويل مشتقـات النفط الثقيلـة، إلى منتجات ذات فائدة أعلى؛ و لذا لا بد من العمل على إزالتها قبل الشروع في معالجة المشتقات الثقيلة.

• الوقود الغازي

يصنـف تحت الوقود الغـازي (Gaseous Fuel) العديد من الغـازات. منها - على سبيـل المثال - الغاز الطبيعي (Natural Gas)، وغـازات النفط المسيلة (Liquefied Petroleum Gases: LPG)، وغـازات تكرير الزيت (Refinery Oil Gases)، وغاز الفـرن العـالي (Blast Furnace Gas)، وغـاز الفحـم الحجـري (Coal Gas)، وغـاز التكسـير (Cracking Gas)، وغاز التصنيـع (Synthesis Gas)، وغيرها من الغازات التي يحصل عليها صناعياً مـن التقطير الإتـلافي، أو ما يعرف بعملية الكربنـة (Carbonization Process) للوقـود الصلـب، ومـن عمليـات تغويـز (Gasification Process) الوقـود الصلب والسائل (عمليـات تحويـل الوقـود الصلـب والسائل إلى غاز). يعد الوقود الغازي من أهم أنواع الوقود المستخدم في محطات توليد الطاقـة، ومحطـات تكرير الميـاه، ومصـانع الأسمنـت والأسمدة الكيميائيـة، والمنازل.



يمكـن الحصول على الوقود الغازي من مصـادر طبيعية، فقد يكون مصاحباً للنفط أو متواجـداً في آبار مستقلة. إن تواجـده المستقل يدل على أن الغاز الطبيعي قد هاجر من خلال الصخـور المسامية بعيداً عن النفط. كذلك يمكـن الحصول على الغاز الطبيعي من مصدر صناعي. بواسطة الحرق الإتلافي للوقود الصلب أو السائل.

مميزات الوقود الغازي ومن أهمها:

١- سهولة ضخه للأفران دون الحاجة لأي معالجة فيزيائية.
٢- احتراقـه بصورة كاملة في وجـود زيادة بسيطة من الهواء، وبالتالي يعطي كفاءة حرارية أعلى.
٣- لا يخلف احتراقه رماداً، أو دخاناً، أو شوائب أخرى.
٤- إمكانية التحكم باللهب و درجة الحرارة.
٥- الأقل سعراً من بين أنواع الوقود؛ نظراً لتوفره بكميات كبيرة، وسهولة الحصول عليه، و ارتفاع قيمته الحرارية.

عيوب الوقود الغازي: ومنها:

١- صعوبة تخزينه وتسويقه لمسافات طويلة، حيث يتم ذلك تحت ضغط عال.
٢- خطورة تسربه من الأوعية والأنابيب الحاوية له؛ مما قد يؤدي لانفجار وحريق.

أنواع الوقود الغازي: ومن أهمها ما يلي:

١- **الغـاز الطبيعـي** (Natural Gas): ويعد الأكثر أهمية والأكثر استخداماً، وهو غاز عـديم اللـون والرائحة. يستخدم مصـدراً لإنتاج الطاقة الحراريـة حيث تتراوح قيمته الحراريـة مـا بين ٣٧ إلى ٤١ ألـف كيلوجول/م٣، كمـا أنه يدخل في كثـير من عمليات التحضير العضـوي لإنتاج الكحول الميثيلي، والمطاط الصناعي، والمركبات ذات الجودة العاليـة لوقود المحركات. يشكل الميثان المكون الرئيس في الغاز الطبيعي، ثم يليه الإيثان مـن حيث الوفرة. كذلك يحـوي كميات قليلة من البروبان، والبيوتان، وكميات قليلة من الهيدروكربونـات الأثقل تبعاً لمصدره. وبجانب هـذه الهيدروكربونات، فإنه يحوي على كبريتيد الهيدروجين، وثاني أكسيد الكربـون، والنيتروجين، والهيليوم، وبعض الغازات النبيلـة الأخرى حيـث تتفاوت نسب هذه المـواد في الغاز من حقل لآخـر. يصنف الغاز الطبيعي إلى نوعين هما:

(أ) **الغـاز الجـاف**: ويكون في حقل مستقل غير مختلط بالنفط، ولذا يسمى أيضاً بالغاز الحر (Free Gas) ، وهو يتكون من هيدروكربونات غازية ذات أوزان جزيئية منخفضة غالبيتها من الميثان.

(ب) **الغـاز الـرطب**: هــو الغاز المرافق للنفط في حقل واحد حيــث يكون الغاز المفصول عند رأس البئر حاوياً على هيدروكربونات سائلة في الطور الغازي كالبنتان و الهكسان.

وتكـون نسبة البروبان و البيوتان في الغاز الرطب أعلى منها في الغاز الجاف، بينما نسبة الميثان في الغاز الرطب أقل منها في الغاز الجاف، ولذا فإن الغاز الرطب ذو قيمة حرارية أعلى منها للغاز الجاف.

٢-**غـازات تكرير الزيت** (Refinery Oil Gases): وتنتج بشكل غير متعمد عند إجراء عمليات تكرير النفط، ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

(أ) **غـازات التقطـير** (Distillation Gases): وهــي غــازات هيدروكربونيــة ذائبة في النفـط، ولـذا يتحصل عليها من أعلى بـرج التقطير، أو مع قطفة النفثـا الخفيفة أثناء القيام بعملية تقطير النفط. تختلف كمية هذه الغازات وتركيبها وفقاً لنوع النفط الخام. كمــا تتواجد مع هذه الغازات كميــة من الهيدروكربونات الغازيــة الثقيلة، وهي مركبات مشبعة يستفاد منها في إنتاج غازات النفط المسيلة، وكوقود في وحدات التكرير المختلفة.

(ب) غــازات التكســير (Cracking Gases): وتنتــج مــن عمليــات تكســير القطفات النفطيــة بغيــة إنتاج وقود المحــركات ومشتقــات وسطيــة. وتعتمد كمية هــذه الغازات وتركيبهــا بشكل مباشر على نوع عمليــة التكسير المتبعة، سواء أ كانــت تكسيراً حرارياً أم تكســيراً في وجــود عامل محفز. كما تعتمدان على ظــروف عملية التكسير من درجة حــرارة، وضغــط، وزمن تفاعــل. تستخدم هذه الغــازات كوقود في محطــات التكرير، وكمادة أولية للصناعات البتروكيميائية القائمة على الأوليفينات (الألكينات).

(ج) غــازات المعالجــة: وتنشأ عن عملية إصــلاح الجازولين لرفع عــدده الأوكتاني، إذ ينتــج خليط من الهيدروكربونات المشبعة بغــاز الهيدروجين. وتعتمد كمية هذه الغازات وتركيبهــا علــى نوع عملية الإصــلاح، وعلى ظروفها مــن حرارة وضغــط. كما أن هذه الغــازات تكون مصحوبة بكميــة من الغاز الرطب، وغــاز الهيدروجين اللذين يفصلان حتى يستفاد منهما.

٣- **غازات النفط المسـيلة**: وتعد وقوداً أولياً ناشئاً عن المعالجة الفيزيائية للنفط الخام أو الغــاز الطبيعي. وتتركب هذه الغازات بشــكل أساس من غازي البروبان والبيوتان في

حـال الحصول عليها من الغاز الطبيعي الرطب. أما عنـد الحصول عليها من عمليات تقطير النفط الأولية وعمليات التكسير والإصلاح فإن غازي البروبان والبيوتان يكونان مصحوبين بكميات صغيرة من البروبين (propene) والبيوتين (butene).

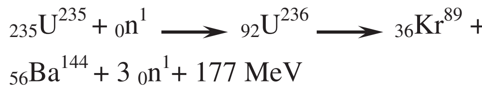
الـوقـــود النـــووي

يعتمد هذا النوع من الوقود على استغلال الطاقة النووية من خلال إحدى العمليتين التاليتين:

• الانشطار النووي



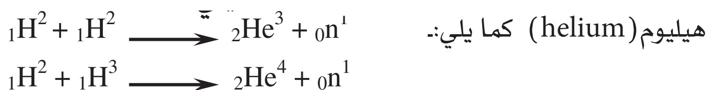
تتـم عمليـة الانشطـار النـووي (Nuclear fuel) عنـد قـذف أنويـة العناصـر الثقيلـة غـير المستقـرة والنشطـة إشعاعيـاً بالجسيمـات المناسبـة كالنيوترونات والبروتـونات. ومـثال ذلك مـا يحصل في المفاعلات النووية نتيجـة قـذف نـواة نظـير اليورانيـوم ـ٢٣٥ (uranium-235) بالنيوتـرون لتنتج أنوية وليدة ذات أوزانٍ متوسطِة. وذلك وفقاً للمعادلة التالية:



$$_{235}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{92}U^{236} \longrightarrow {}_{36}Kr^{89} + {}_{56}Ba^{144} + 3\,{}_0n^1 + 177\ MeV$$

• الاندماج النووي

يمكـن استغلال الطاقة النوويـة لأنوية الذرات الخفيفة من خـلال عملية اندماج نواتـين لإنتـاج نواة أثقـل مع إنتاج طاقـة حرارية كبـيرة. ويمكن التمثيـل لهذا النوع مـن التفاعـلات النوويـة باندمـاج نواتـي هيدروجـين (hydrogen) لتكويـن نـواة هيليوم (helium) كما يلي:



$$_1H^2 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_2He^3 + {}_0n^1$$

$$_1H^2 + {}_1H^3 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$$

تعـد عملية اندماج نواتي الهيدروجين هي المسؤولة عن الطاقة الحرارية التي تبثها

إلينا الشمس، وعن القوة التدميرية للقنبلة الهيدروجينية.

وقـود الهيـدروجين

تمتلك ذرة الهيدروجين بروتوناً واحداً في نواتها، وإلكتروناً واحداً يدور حول نواتها. مما يجعلها أول عنصر في الجدول الدوري للعناصر. تُعرف نـواة ذرة الهيدروجين الحاوية فقط على بروتون بالبروتيوم، وهذه أكثر النظائر شيوعاً في الطبيعة (نسبة وجوده ٩٨٥, ٩٩٪). أما إذا احتوت النواة على نيوترون إضافة للبروتون؛ فإنه يتكون ما يعـرف بنواة نظير الديوتريـوم (نسبة وجوده ٠١٥, ٠٪). لكن في حال تواجد نيوترونين مـع البروتون في النواة فإنه يؤدي لنشوء نواة نظير التريتيوم المشع. وعليه: فقد وجد أن متوسـط كتلة ذرة الهيدروجين يبلـغ ٦٧٣٢٩, ١×١٠-٢٤ جراماً. تعد ذرة الهيدروجين نشطـة جـداً كيميائياً، حيـث تميـل لفقـد إلكترونهـا، أو المشاركة بـه في عمل روابط تساهميـة، أو تعمل على اكتساب إلكترون آخر ليصبح مستوى الطاقة الإلكتروني الأول بهـا مملوءاً، وتصبـح مشابهة في توزيعها الإلكـتروني لذلك التوزيع الـذي تمتلكه ذرة الهيليـوم. تعتمد طريقة الارتباط الكيميائـي لذرة الهيدروجين على الطبيعة الكيميائية للذرة الأخرى المرتبط بها. ولذا فإن غاز الهيدروجين ينشأ عن ارتباط ذرتي هيدروجين برابطة تساهمية قوية. يعد غاز الهيدروجين أخف غاز، وهو غاز غير سام عديم اللون، والطعـم، والرائحـة. ويتميز بقدرة انتشار عالية جداً نظـراً لخفته، وبتوصيلية حرارية هائلـة. ويمكن إسالته تحت الضغط الاعتيـادي عند درجة حرارة -٨٨, ٢٥٢ °م. وتبلغ كثافـة الهيدروجين السائـل ٠٧٠٩٩, ٠ جم/سم٣ يعـد غاز الهيدروجـين المادة الأكثر توافـراً في الكـون، إذ يقـدر بثلاثة أرباع مـا في الكون من مادة. أمـا على سطح الكرة الأرضية، فإن الماء يعد أكثر الصور الكيميائية التي يتواجد فيها الهيدروجين.

• مصادر غاز الهيدروجين

لا يتواجـد غـاز الهيدروجين على سطح الكرة الأرضية بكميـات وفيرة. ولذا لابد من تحضيـره كيميائياً. فعلـى سبيل المثال ـ لا الحصر ـ يمكن تحضيره بإحدى الطرق التالية:

١- التحليـل الكهربائـي للمـاء في وجـود عامل محفز من مـادة موصلـة (إلكتروليت) حمضيـة (مثـل حمض الكبريـت)، أو قاعديـة (مثـل هيدروكسيد الصوديـوم) لرفع التوصيليـة الكهربية المنخفضة للماء، فتسهل عملية تفككـه كهربائياً. وبذلك يتصاعد

غــاز الهيدروجــين عند المهبـط (القطب السالــب لخلية التحليــل الكهربائــي)، بينما يتصاعد غاز الأكسجين عند المصعد (القطب الموجب للخلية).

٢- تحلل الماء بواسطة الطاقـة النوويـة أو الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، حيث يعتمد على مصـادر الطاقة المتجددة هذه لتقليص تكاليف توليـد الطاقة الكهربائية اللازمة لعملية تحليل الماء.

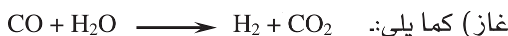
٣-العمليـات الحراريـة الكيميائية: وهي عبارة عـن سلسلة تفاعـلات كيميائية ماصة للحرارة تكون محصلتها إنتاج الهيدروجين بحيث يتم توليد المواد المستهلكة مرة أخرى في جميع الخطوات لتكون العملية دائرية واقتصادية.

٤- عمليــة الإصــلاح البخاري للميثان لينتــج بذلك مزيج من غــازي الهيدروجين وأول أكسيــد الكربون (يعرف هـذا الخليط بغــاز التصنيع) كما توضحه المعادلة الكيميائية التالية:



$$CH_4 + H_2O \longrightarrow 3H_2 + CO$$

ويمكـن زيادة كمية الهيدروجــين الناتجة من خلال أكسدة أول أكسيد الكربون إلى ثــاني أكسيد الكربون بفعل الماء في وجود عامل حافز (تعرف هذه العملية بانزياح ماء-غاز) كما يلي:



$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2$$

وتعـد عملية الإصلاح البخــاري للماء أهم عملية في الوقـت الحاضر لإنتاج معظم الهيدروجين المحضر في العالم.

٥- تفاعـل الأحماض مع المعـادن: تستخدم للحصول علــى الهيدروجين في المختبرات. فمثـلاً يمكن في المختبر اللجوء لعملية ذوبان معدن الخارصين في حمض الهيدروكلوريك كمـا في المعادلة الكيميائية التالية:



$$Zn_{(s)} + 2HCL_{(aq)} \longrightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

- **مزايا وقود الهيدروجين**

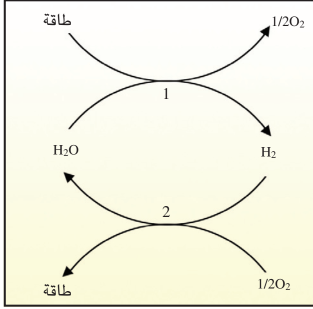
هنــاك عـدداً مـن السمــات التي يتمتـع بهــا الهيدروجين جعلته محـط أنظـار العلماء لاستخدامـه كمصدر للطاقة اللازمـة للعمليات الصناعية و حركـة المواصلات اليومية. من هذه المزايا ما يلي:

١- إمكانية توليده من تحلل الماء الذي يعد مادة ابتداء رخيصة، ومتوفر بكميات هائلة.

٢ - وقود نظيـف لايعمل على تلويث البيئة، ولا إلحاق الضرر بها؛ لأن المـاء هو الناتج الرئيس نتيجة احتراق الهيدروجين في الهواء.

٣- إن عمليتــي تفـكك المــاء واحــتراق الهيدروجــين متكاملتــان؛ لأن المواد التــي تستهلك في

إحداهمـا يتـم توليدها في الأخـرى، وعليـه تنشأ دورة تستهلك فيهـا الطاقة دون المواد الأولية، كما هو موضح في شكل (١).



شكل (١).

٤- يمتلـك غاز الهيدروجين أعلـى كمية طاقة يمكن أن تنتـج عن وحدة الكتلـة. فاحتراق كيلوجـرام واحد من الهيدروجـين يولد قدراً مكافئـاً من الطاقة الناتجة عن احـتراق ٢١٠٠جرام مـن الغاز الطبيعـي، ونفس القدر من الطاقة الناشئة عن احتراق ٢٨٠٠جرام من الجازولين.

- **مخاطر غاز الهيدروجين**

تكمـن أكبر عوائق استخدام غـاز الهيدروجين كوقود في إمكانيـة إحداثه لحرائق وانفجـارات. إذ إنه قابل للانفجار في الهواء في مدى أوسع من النسب الحجمية مقارنة بالجازولـين والغاز الطبيعي. كما أنـه يشتعل بفعل الشرارة الكهربائية بسهولة أكثر من الجازولـين والغاز الطبيعي. ونظراً لكونه عديم اللون والرائحة والطعم، فإن هذا يجعل عمليـة اكتشـاف تسربه صعبة. علاوة على ذلـك فإن احتمالية تسربـه من اسطواناته والأنابيـب الناقلة له أعلى بكثير من أي غاز آخـر، وهذا يعزى لصغر حجمه الجزيئي. يشـكل الهيدروجـين السائل أيضاً مصدر خطر لبرودته العاليـة، فعند التقائه بالهواء، فإنـه يعمل على تجمد الأكسجين والنيتروجين مما ينتج عنه خليط متفجر لحظياً يزول خطره بالتبخر السريع لهذا الخليط وتشتته وانتشاره عند الظروف الاعتيادية.

الغـاز الحيـوي

يطلـق اسـم الغـاز الحيـوي (Biogas) علـى خليـط من عـدة غـازات أهمها غاز الميثـان(CH_4) والـذي تصل نسبته إلى حوالي ٧٠٪، وينتج هذا الغاز بفعل التحلل غير الهوائـي للمواد العضوية الموجودة في المخلفات الحيويـة للحيوانات والنباتات والمنتجات الثانويـة مـن أصل حيواني ونباتـي وبقايا المـواد العضوية في الأطعمـة أو مياه الصرف الصحـي أو ميـاه المعالجة الصناعيـة أو غيرهـا إلى مكوناتها الأساسيـة، وتسمى هذه العملية بعملية التخمير، ويعد الغاز الحيوي منافساً للغاز الطبيعي من حيث الخصائص الطبيعيـة وطاقة الاحـتراق. ينتج من عملية التخمر إلى جانب غاز الميثان (٦٠-٨٠٪) غازات أخرى، مثل: غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة(٢٠-٣٥٪) ونسب قليلة من غازات

النشادر، والهيدروجين، والأكسجين، والنيتروجين، وكبريتيد الهيدروجين. تتكون وحدة إنتـاج الغاز الحيوي مـن أجزاء كثيرة أهمها حجرة التخمـير، وحجرة التغذية، وحجرة المخلفـات، وبعض الأجزاء الإضافية، مثل: جهاز تكسير المواد العضوية وطحنها، وجهاز فـرز المواد غـير الملائمة للتخمير ، إضافـة إلى مضخات تغذية وتفريـغ حوض التخمير وأحواض لتخزين المواد سواء لتجهيزها لحوض التخمير أو للتخلص من المواد المتعفنة. تصنـف منشـآت توليد الغاز الحيـوي إلى نوعين رئيسين بحسب شـكل حجرة التخمير؛ وهما: المخمر الهندي: ويوجد منه في الهند أكثر من ٢٠٠ ألف منشأة، والمخمر الصيني: والـذي يوجد منه في الصـين لوحدها أكثر ٢٠ مليـون منشأة. يكثر وجـود منشآت الغاز الحيـوي في المناطـق الريفية البعيدة عن المناطق الحضرية والتـي لاتصل إليها خدمات الطاقـة الكهربائية، وبذلك يستخـدم كمصدر للطاقة للإنـارة والتدفئة والطهي ووقود لوسائـل النقل. ومن فوائده تخليص البيئة من النفايـات، كما أن مخلفات تصنيع الغاز تستخدم كمخصبات جيدة للتربـة، وحماية المياه الجوفية من التلوث، وتقوية الاقتصاد عن طريق إيجاد فرص عمل في المناطق النائية مما يقلل من الهجرة إلى المدن الكبيرة، وبالتـالي التخفيف مـن الإزدحام فيها. ومع قلة التكاليف وسهولـة إنتاجه إلا أن هناك بعض المعوقات التي تحد من الاستفادة منه على نطاق واسع، مثل: صعوبة نقله من خلال شبكـة الغـاز الطبيعي، وعـدم توفره في كل مـكان، والحاجة إلى وجـود محطات خاصة لتزويـد وسائل النقل بمـا تحتاجه وفي جميع الأوقات، إضافة إلى كونه يحتوي على بعض الشوائـب الضارة مثل كبريتيد الهيدروجـين. وأسوة ببعض البلـدان التي قطعت شوطاً كبـيراً في هذا المجال كالصين والهند فإن بعض الدول العربية مثل سوريا والأردن بدأت التخطيط واعتمـاد المشاريع والبرامج للاستفادة من هذه الوسيلة التي تعد من مصادر الطاقة المتجددة وغير المكلفة، والمفيدة في نفس الوقت في حماية البيئة من التلوث.

طـاقـة الكتـل الحيـويـة

تعد الكتل الحيوية مصدراً للطاقة الحيوية يتوفر محلياً بحيث يمكن من خلالها توفير الكهربـاء والحرارة سـواءً بحرقها مباشرة للحصول على الطاقـة أو من خلال إنتاج أنواع الوقـود المشتقـة منها سواء السائلـة أو الغازية أو الصلبة. ويمكن لوقـود الكتل الحيوية أن يحـل محـل أنواع الوقود الأحفوري المستورد، وبذلك يدعـم الأمن الوطني في مجال الطاقة وينـوع مصادرها، كما يساعد استخدام الوقود الحيوي إذا ما أدير بشكل مناسب في توفير

طاقــة نظيفة تساهم في التنمية المستدامة وتخفف من الشواغل البيئية. تشمل أنواع الوقود الحيــوي الحطب والفحم النباتــي والسائل الأسود والغاز الذي ينتــج من التقطير الإتلافي للخشــب، والروث الحيواني. يمثل الوقود الحيوي المصــدر الرئيس لإنتاج الطاقة في أغلب البلدان الأفريقية والجزء القاري من جنوب شرق آسيا. تتمثل أهم المحاذير من استخدام الكتـل الحيويــة كمصدر للطاقــة أن لا ينافس الإنتــاج الغذائي، إذ يجــب أن تكون الأولوية لإنتاج الغذاء.

الأستيلـــين

يعــد الأستيلــين (كمــا يطلق عليه اســم الإيثين) مــن المركبــات الهيدروكربونية حيث يتكــون من ذرتي كربون وذرتي هيدروجين، ترتبط ذرتي الكربون برابطة ثلاثية، وهو مادة كيميائيــة قابلة للاحتراق، ينتج عن احتراقه. عند خلطه مع الأكسجين. كمية حرارة تصل إلى أكــثر من ١١٨٠٠ جول/جــرام. أما درجة حــرارة لهبه فتصل إلى أكــثر من ٣٣٠٠ °م. يتــم الحصول على الأستيلــين بعدة طرق من أهمها تفاعل كربيــد الكالسيوم مع الماء. كما يتــم الحصول عليه للأغراض الصناعية من تكسير النفــط الخام. يستخدم الأستيلين في الصناعة؛ ففي الولايــات المتحــدة - على سبيل المثال - يشكل مايستخدم في تصنيع المواد الكيميائيــة مثل الإيثانول وكلوريد الفينيــل (المستخدم في صناعة البلاستيك) حوالي ٨٠٪ من الإنتاج السنوي، بينما تستخدم النسبة الباقية في الوقود اللازم لتوليد شعلة الأكسجين الأستيلينية التي تستخدم في عملية قطع وتلحيم المعادن.

وقـود الصـواريـخ

يولد وقود الصواريخ قوة دفع تتجه إلى الخلف في النفاثات ذات السرعة العالية نتيجة لتحــول الوقــود الدافع إلى غــاز شديد الحرارة فيتمــدد ويندفع بشدة مــن خلال فتحة في مؤخرة الصــاروخ تؤدي إلى دفع الصاروخ بالاتجاه المعاكس (قانون نيوتن الثالث). يصنف وقود الصواريخ إلى ما يلي:

- **وقود الدفع الصلب**

يعــد وقود الدفــع الصلب من أقــدم أنواع وقــود الصواريخ، فقد استخــدم منذ مئات السنــين في الصــين في الألعــاب الناريــة. يتكــون الوقــود الصلــب في الغالــب مــن الوقود والمؤكســد (Oxidizer) ، يتكون وقود القذائف من مسحوق الفحم والمحفز من (الكبريت) والمؤكســد (نترات البوتاسيوم). يتميز وقود الدفــع الصلب بسهولة نقله وتخزينه والتعامل

معــه أكثر من غيره من الأنواع الأخرى، وهذا يجعله أكثر ملاءمة للاستخدام في الأغراض العسكريــة، كما أن السهولة في الاستخدام تجعل وقود الدفـع الصلب الخيـار الأمثل عندما تكون الحاجة إلى قوة دفع كبيرة، ومع ذلك فإن قوة الدفع(Specific Impulse) بالنسبة لوحدة الوقود تعد ضعيفة. ومن عيوبه عدم إمكانية إيقاف الاحتراق قبل أن ينتهي الوقود.

- **وقود الدفع السائل**

يتميـز هذا الوقود بقـوة دفع بالنسبة لوحدة الوقود أفضل مـن الوقود السائل، كما أنه قابـل للضغـط أو الخنـق (Throttled)، والإيقاف، وإعادة التشغيل مـرة أخرى. من أهم أنواع وقود الدفع السائل الشائعة الاستخدام ما يلي:

- الأكسجيـن السائل مع الكيروسين، وتعد هذه التوليفـة الأكثر ملاءمة لإطلاق الصواريخ إلى المدارات القريبة للأغراض المدنية.
- الأكسجين السائل والهيدروجين، ويستخدم في الصواريخ التي تحمل المركبات الفضائية.
- رباعـي أكسيـد النيتروجـين والهيدرازين، ويستخـدم في صواريخ الأغراضـ العسكرية والمـدارات والفضاء البعيـد، لأن كلا منها سائلاً قابـلا للتخزين لفترة طويلـة تحت ضغط ودرجة حرارة مناسبة.



- **وقود الدفع الهجين**

تستخـدم صواريـخ وقـود الدفـع الهجـين (Hybrid Propellants) وقـوداً صلبـاً مـع مؤكسـد سائـل أو غـاز. يعمل السائـل المؤكسد علـى جعل الوقود قابلاً للضغـط وإعادة تشغيل المحرك، حاله كحال الوقـود السائل المستخدم في الصواريـخ. كمـا أن هذا الوقـود أنظف من وقـود صواريـخ الدفـع بالوقود الصلـب نتيجة كفاءته العالية.

المصدر: مجلة العلوم والتقنية - العدد ٧٨ .

مع تحيات اللجنة الإعلامية
معهد بحوث البتروكيماويات
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
ص.ب ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢
هاتف / ٤٨٨٣٧٧٩ - فاكس / ٤٨١٣٦٧٠



مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

رقم الوثيقة: 14P0015-BKT-0001-AR02